



# Methoden zur Charakterisierung und Identifikation der Degradation von Reflektoroberflächen

29.Juni 2010

F.Sutter, C. Kennedy, S. Meyen, P. Heller, M. Schmücker



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



# Inhalt

- **Einführung**
- **Methoden zur Alterung von Reflektormaterialien**
- **Alterung an Aluminiumreflektoren**
- **Messverfahren zur optischen Charakterisierung der Degradation**
- **Zusammenfassung und Ausblick**



# Einführung

## Ansprüche des DOE an Reflektormaterialien

- direkter Reflektionsgrad über 90%
- **Alterungsbeständigkeit** von mindestens 10 Jahren
- Kosten < \$10,8 /m<sup>2</sup>

## Materialien

- Tests zur Alterungsbeständigkeit sind besonders für neuentwickelte Reflektormaterialien wie Silber-Polymerfilme oder Aluminiumreflektoren interessant
- Glasspiegel (mit 10-20% Blei-Gehalt im Schutzlack) sind beständig
- Bleifreie oder Glasspiegel mit niedrigem Bleigehalt könnten weniger beständig sein
- Die auf dem Markt erhältlichen Reflektoren reagieren sehr unterschiedlich auf Witterungseinflüsse





# Typische Alterungstests für Reflektoren

## Außenbewitterung an verschiedenen Standorten

Golden, Miami, Arizona (USA), Almeria (Spanien) und Köln (Deutschland)

## Beschleunigte Alterung in Bewitterungskammern

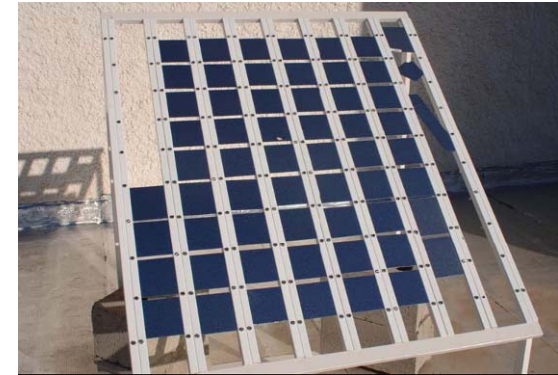
- Atlas Ci5000: 1 Sonne / 60°C / 60% relative Feuchte  
Beschleunigungsfaktor ~ 6-9 (für Glas)
- Blue M damp heat oven: dunkel / 85 °C / 85% relative Feuchte. Beschleunigungsfaktor ~ 20-25 (für Glas)

## Ultra beschleunigtes Testen

- UV - Konzentratoren in Dishes oder Linear Fresnel Kollektoren

## Probleme der beschleunigten Alterung

- Es gibt keine verlässlichen Korrelationen zwischen beschleunigter und standortabhängiger natürlicher Alterung.
- Für manche Materialien treten unrealistische Degradationsmechanismen auf.



Außenbewitterung in Almeria

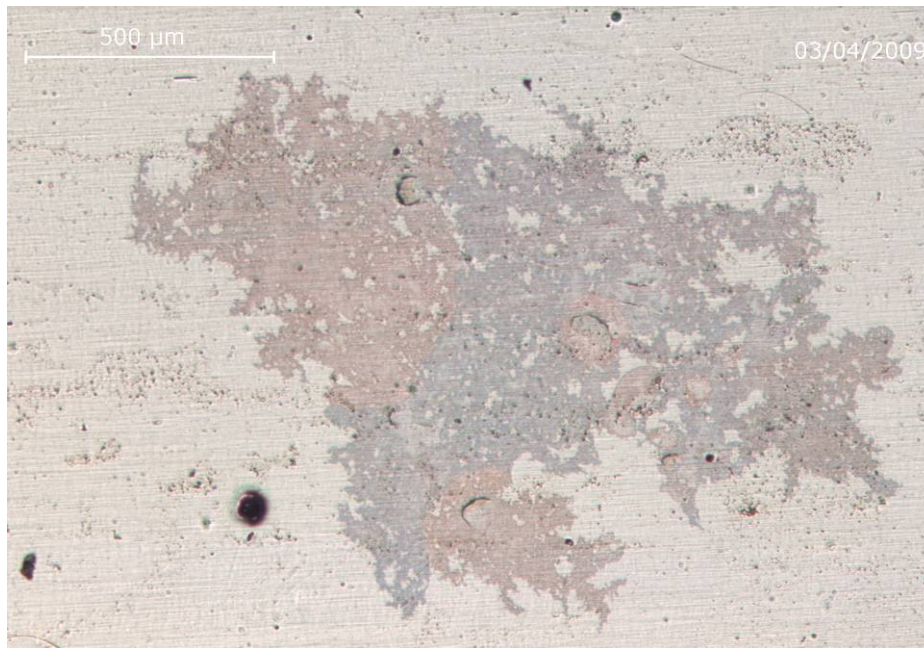


Atlas Ci5000

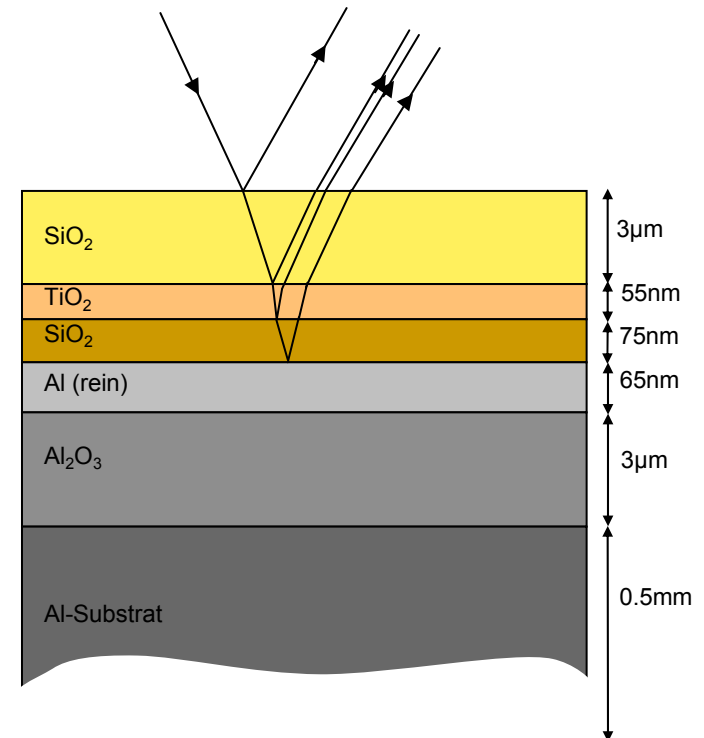


# Alterung an Aluminiumreflektoren

- Unrealistische Degradation des Materials in Bewitterungskammern
- Lokale Korrosionsflecken wurden an allen außenbewitterten Proben gefunden, besonders an küstennahen Standorten



Lokale Korrosionsstelle



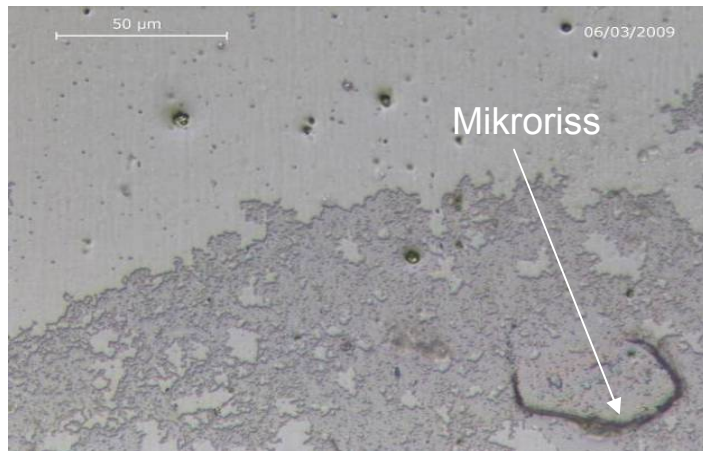
Beschichteter Aluminiumreflektor



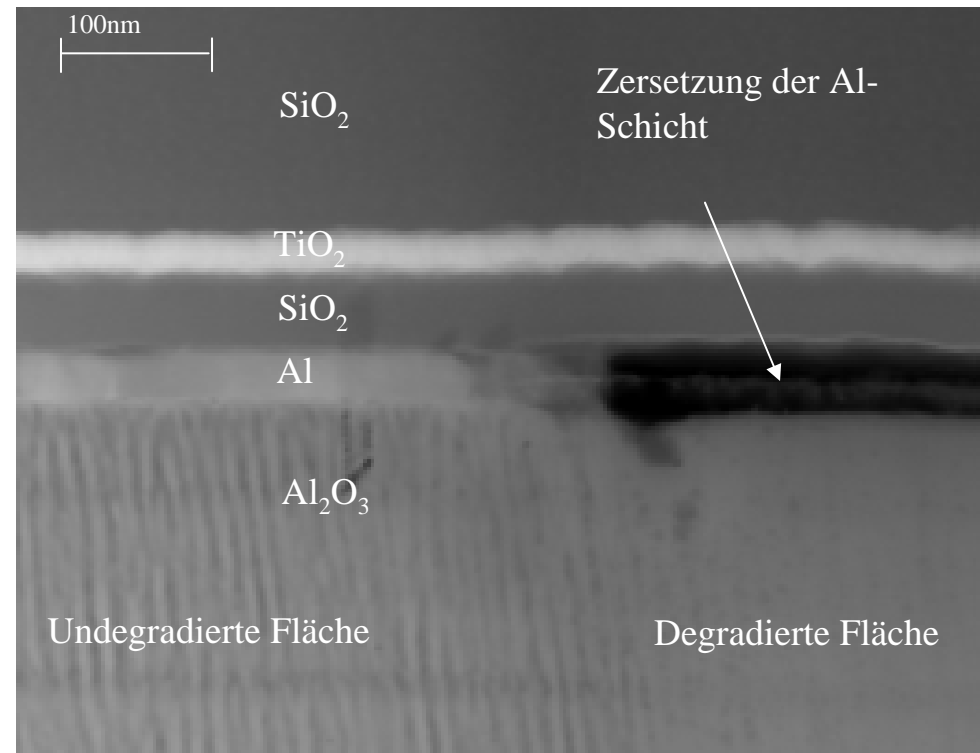


# Natürliche Alterung - Lokale Korrosion an Aluminium

- Die Korrosion startet an Beschädigungen im Schutzlack.
- Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX) hoher örtlicher Auflösung zeigt, dass sich die reine Aluminiumschicht zersetzt.
- Die Korrosion breitet sich unterhalb der intakten  $\text{SiO}_2$  und  $\text{TiO}_2$  Deckschicht aus.



Lokale Korrosionsstelle



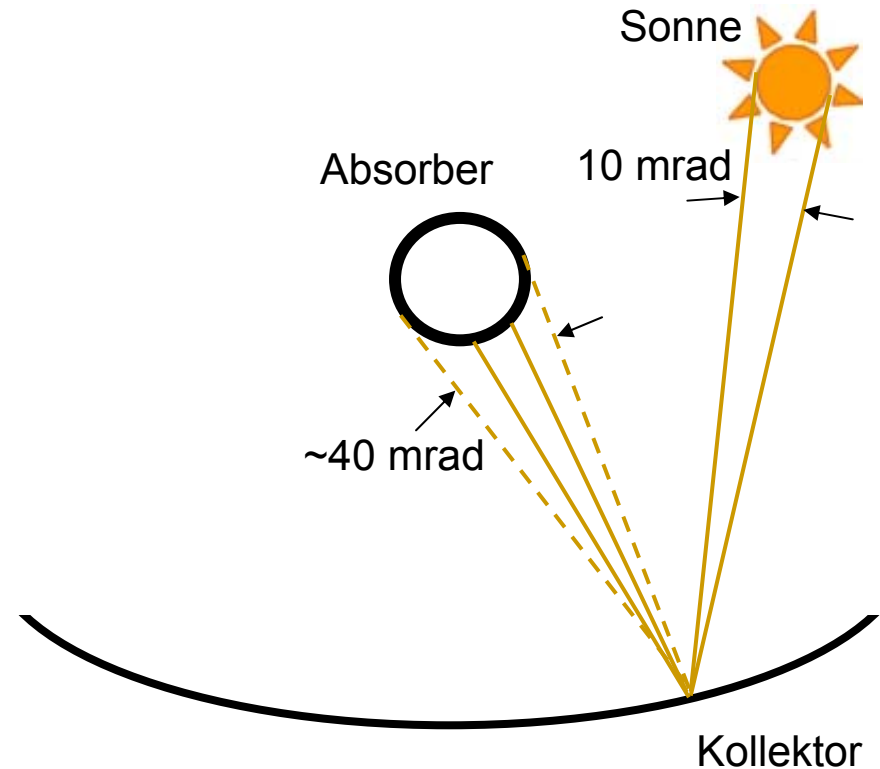
Querschnitt (Z-Kontrast, Transmissions-Elektronen Mikroskop)

# Wie wirkt sich Korrosion auf den Reflektionsgrad aus?

- $\rho_{\text{hem}}$  = spektraler hemisphärischer Reflexionsgrad
- $\rho_{\text{direct}}$  = gerichteter Reflexionsgrad innerhalb Akzeptanzwinkel
- Solar gewichtete Reflexionsgrade:
- $\rho_{\text{SWD}} = \rho_{\text{direct}}$  solar gewichtet
- $\rho_{\text{SWH}} = \rho_{\text{hem}}$  solar gewichtet

$$\rho_{\text{SWD}} = \frac{\rho_{\text{direct},\lambda}}{\rho_{\text{hem},\lambda}} \cdot \rho_{\text{SWH}}$$

$\rho_{\text{SWD}}$  bei 25 mrad wichtigster Parameter für CSP



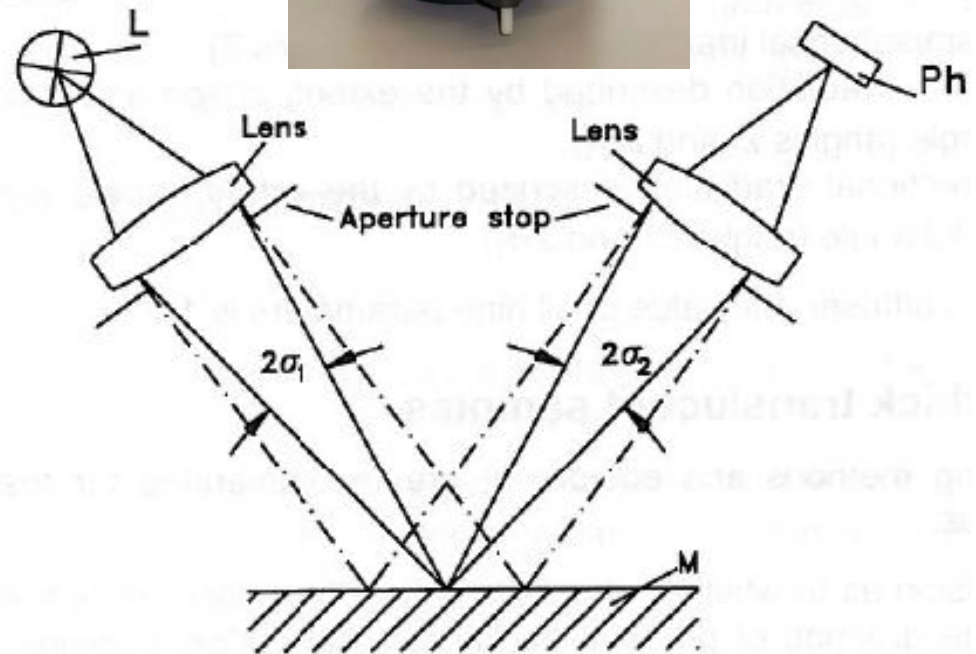
# Wie wird $\rho_{\text{direct}}$ derzeit gemessen?

## Devices & Services – Portable Specular Reflectometer Model 15R

- Akzeptanzwinkel 7, 15 und 25 mrad
- Die Messung erfolgt bei nur einer Wellenlänge (660 nm)

Nachteile für Charakterisierung der Alterung:

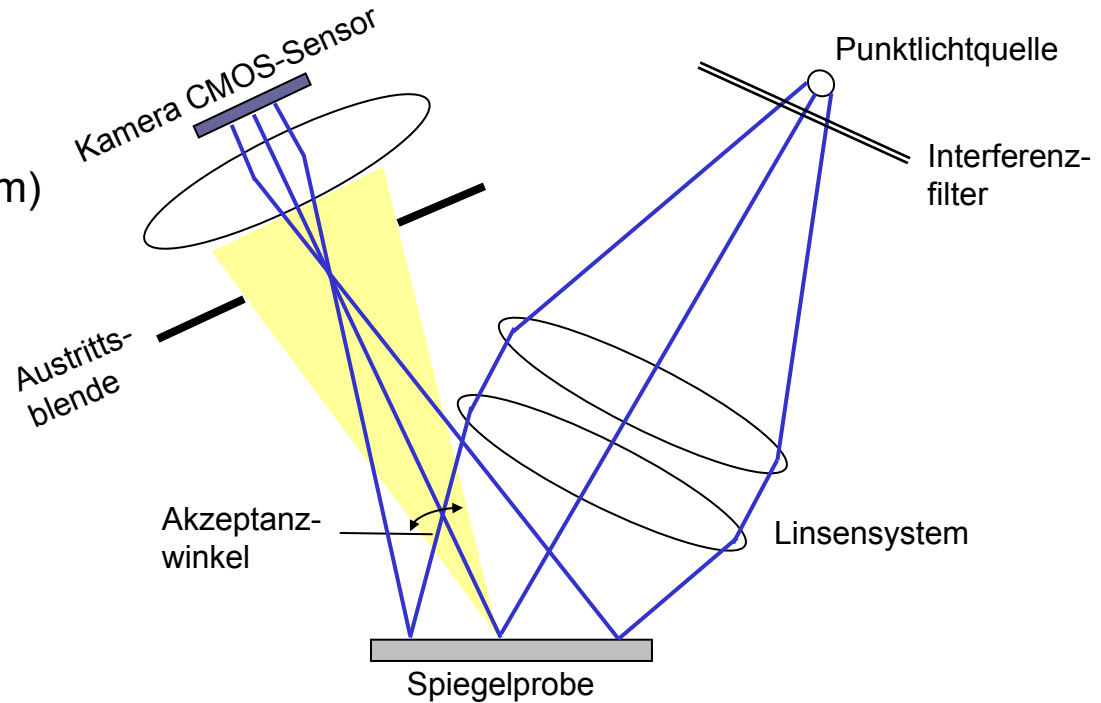
- Keine Ortsauflösung
- Messfleck von 10mm Durchmesser
- paralleles Licht





# Das neue Messsystem

- Akzeptanzwinkel 7, 15 und 25 mrad
- Messung bei verschiedenen Wellenlängen (470nm, 550nm, 660 nm)
- ca. 60 mm Spotdurchmesser
- Kamera als Sensor (Auflösung ca. 13px/mm)
- kein paralleles Licht, daher erhöhte Messgenauigkeit in den Randbereichen des Messflecks
- Ortsauflösung und großer Messfleck bieten Vorteile zur Charakterisierung der Alterung und Verschmutzung von Reflektoroberflächen



# Prototyp

Raw-Bild  
Erfassung mit  
"camera control  
pro 2",  
Konvertierung zu  
linearem ppm mit  
"dcraw",  
Bildanalyse und  
Kalibrierung mit  
"Matlab"

Stabilisierte  
Wolfram- Halogen-  
Lampe

Integrationskugel,  
Öffnung <1mm

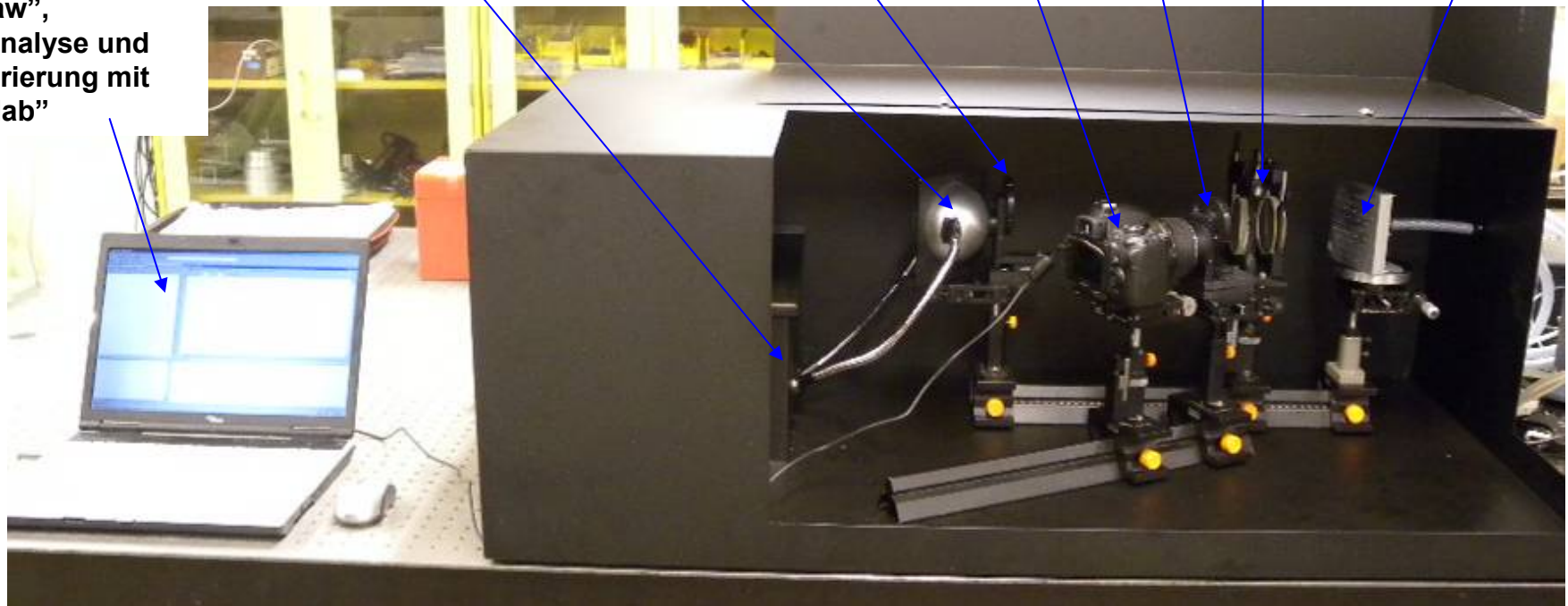
Nikon D5000,  
55mm, f=5.6

Filterrad, 470, 550,  
660nm möglich

Blendenrad, 25, 12  
and 7mrad möglich

Achromatische  
Linsen,  
 $f_1=300\text{mm}$ ,  
 $f_2=400\text{mm}$

Vakuum  
Probenhalter  
für 10x10cm  
Proben



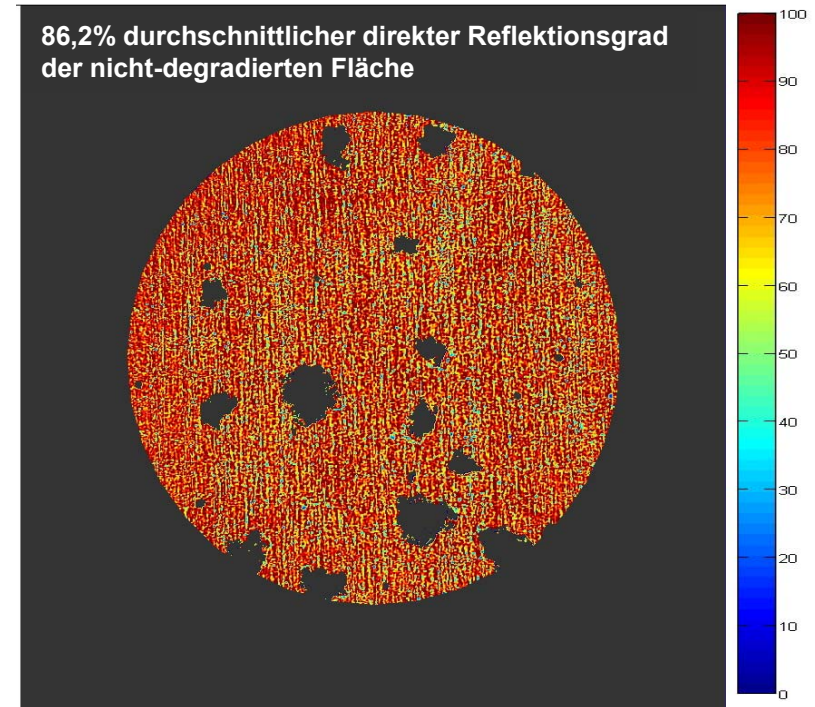
Übereinstimmung der Messwerte mit dem D&S Reflektometer innerhalb von 1%.



# Bildauswertung

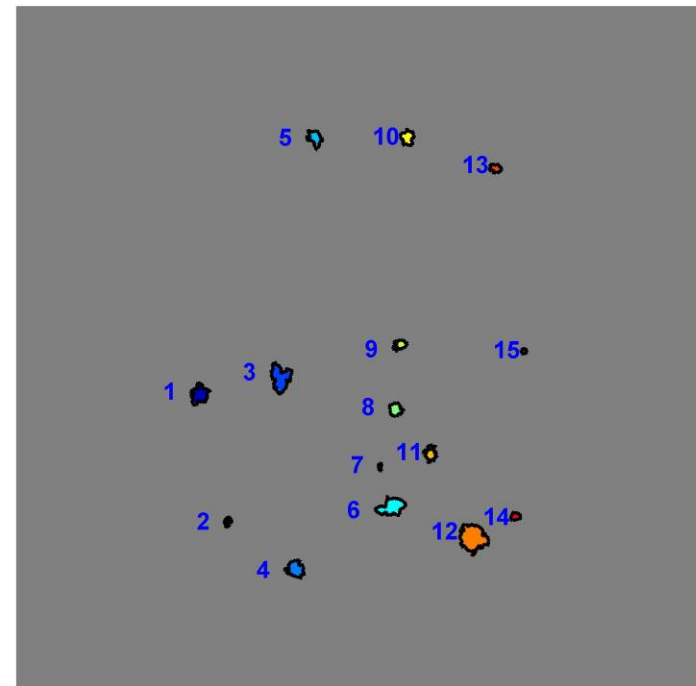
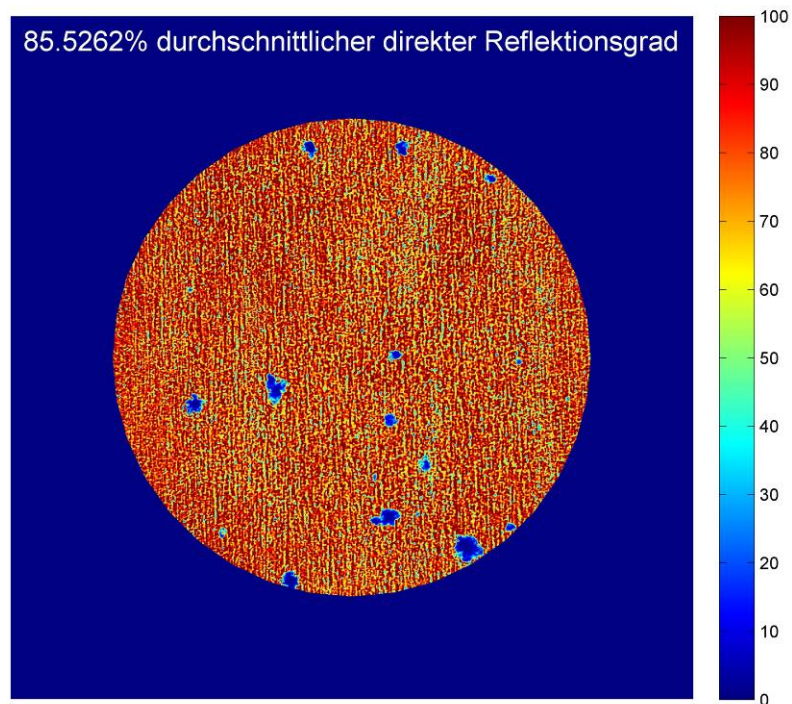
## Messbare Parameter

- durchschnittlicher direkter Reflektionsgrad
- Flächenanteile unter bestimmtem Reflektionsgrad
- Zusammenhang von Flächenanteilen und Reflektionsgraden
- Erkennung lokaler Korrosionsflecken
  - Flächenanteile einzelner Flecken
  - durchschnittlicher direkter Reflektionsgrad einzelner Flecken
- direkter Reflektionsgrad der nicht korrodierten Fläche
- Eignung zur Charakterisierung der Streuung durch Verschmutzung von Reflektoroberflächen
- In Verbindung mit Alterungstests sind Messungen zur Ausbreitungsgeschwindigkeit von Korrosionsprozessen möglich



# Bildauswertung

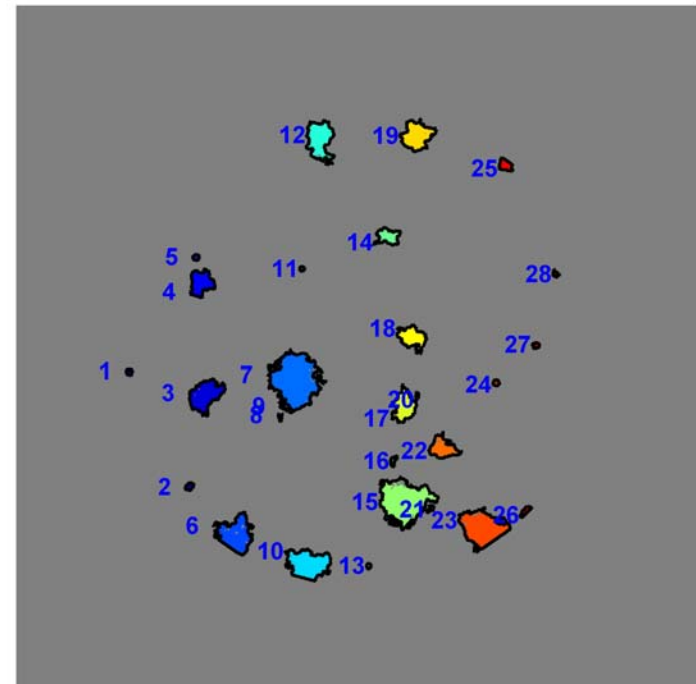
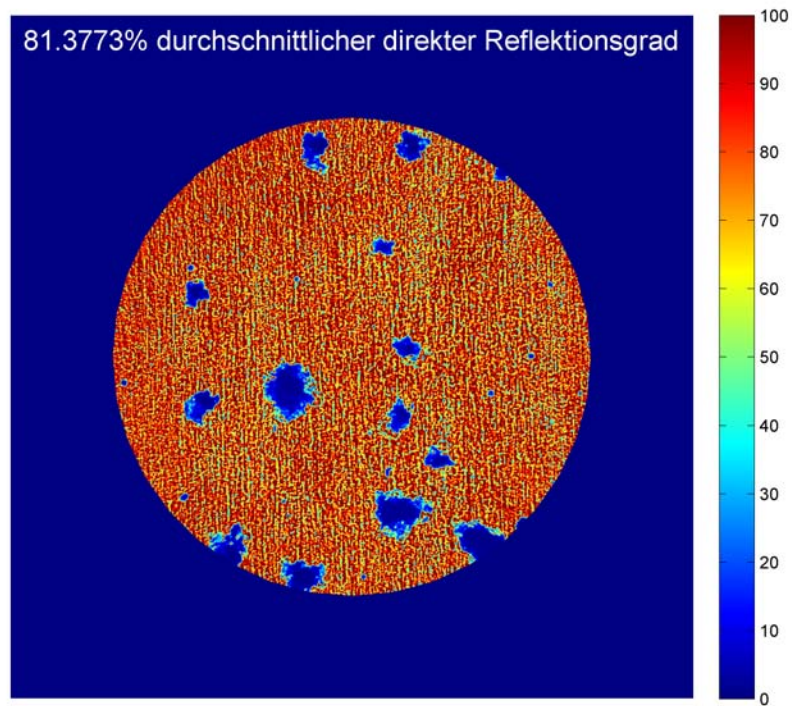
Aluminiumspiegel nach 5 min in beschleunigendem Test





# Bildauswertung

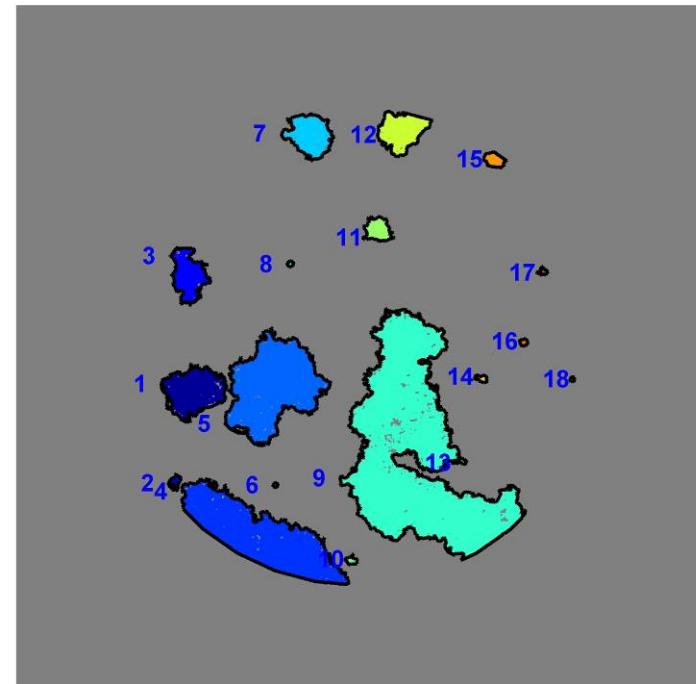
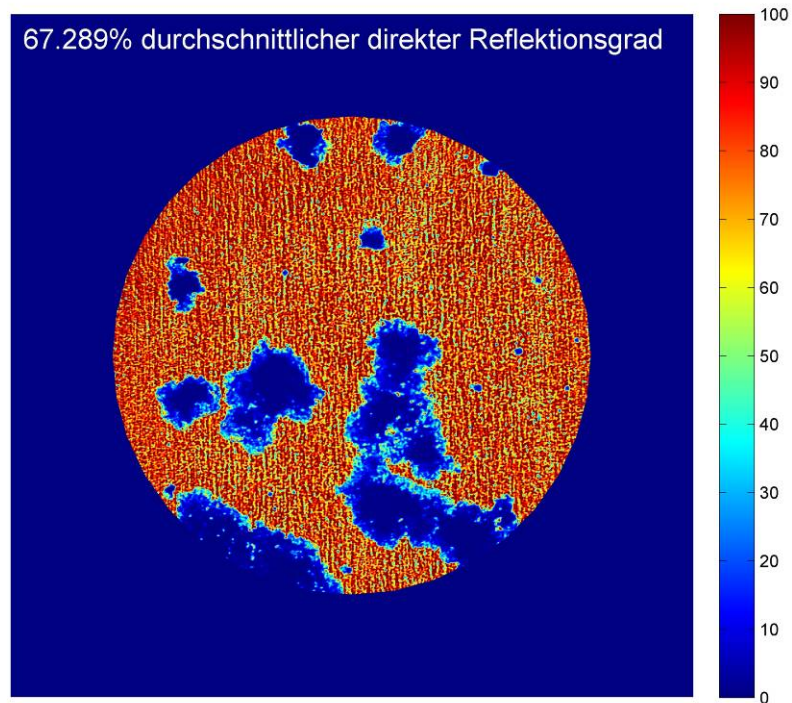
Aluminiumspiegel nach 20 min in beschleunigendem Test





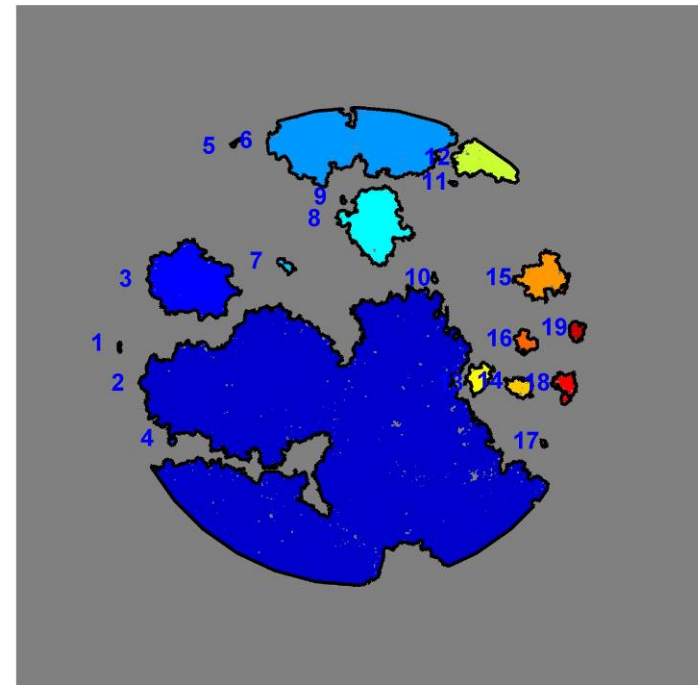
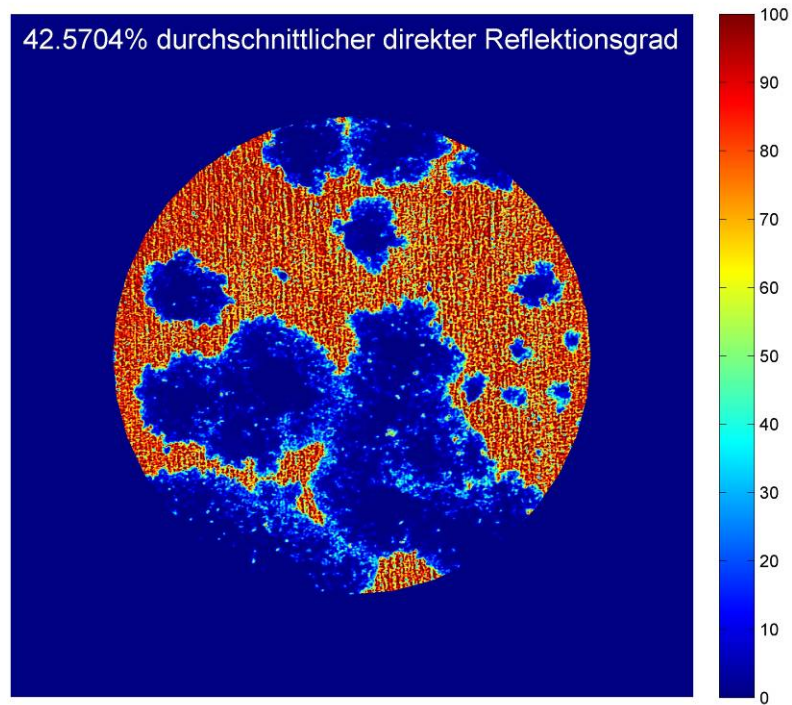
# Bildauswertung

Aluminiumspiegel nach 40 min in beschleunigendem Test

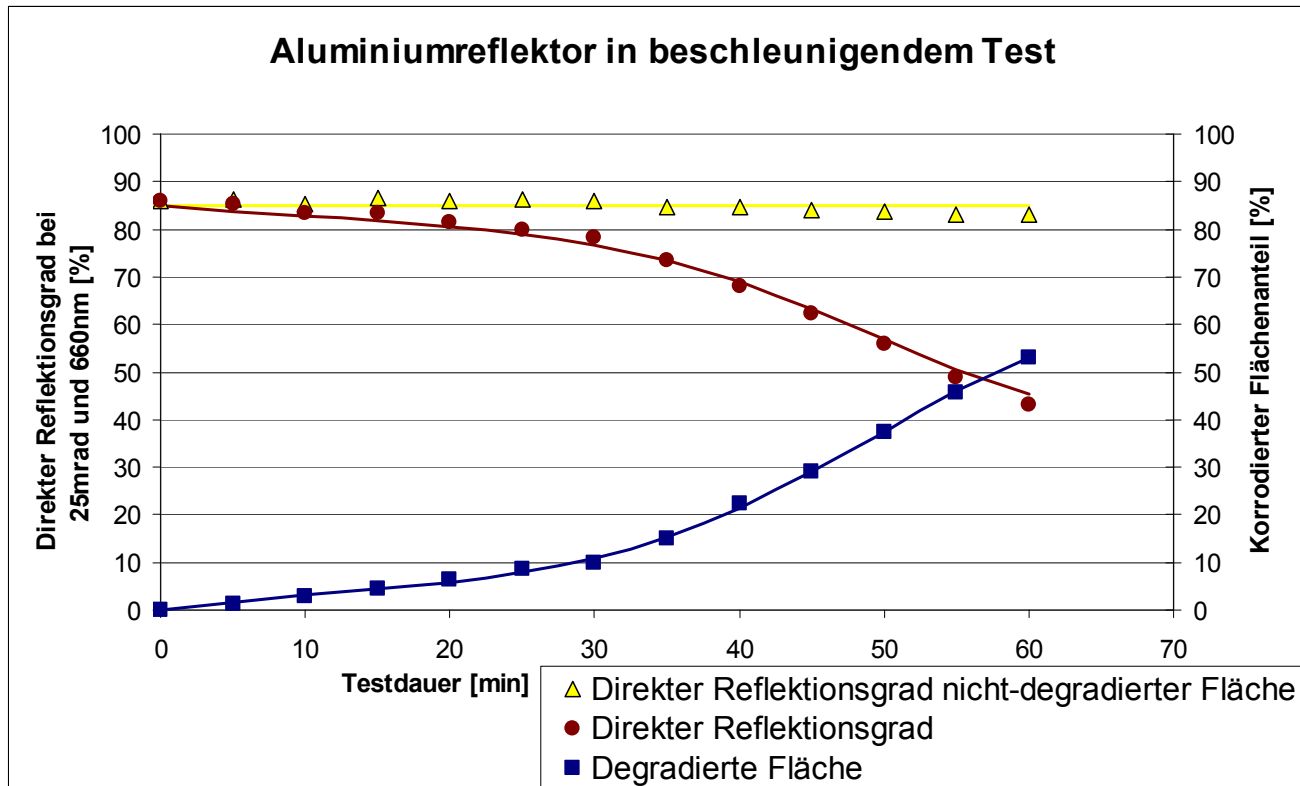


# Bildauswertung

Aluminiumspiegel nach 60 min in beschleunigendem Test



# Bildauswertung

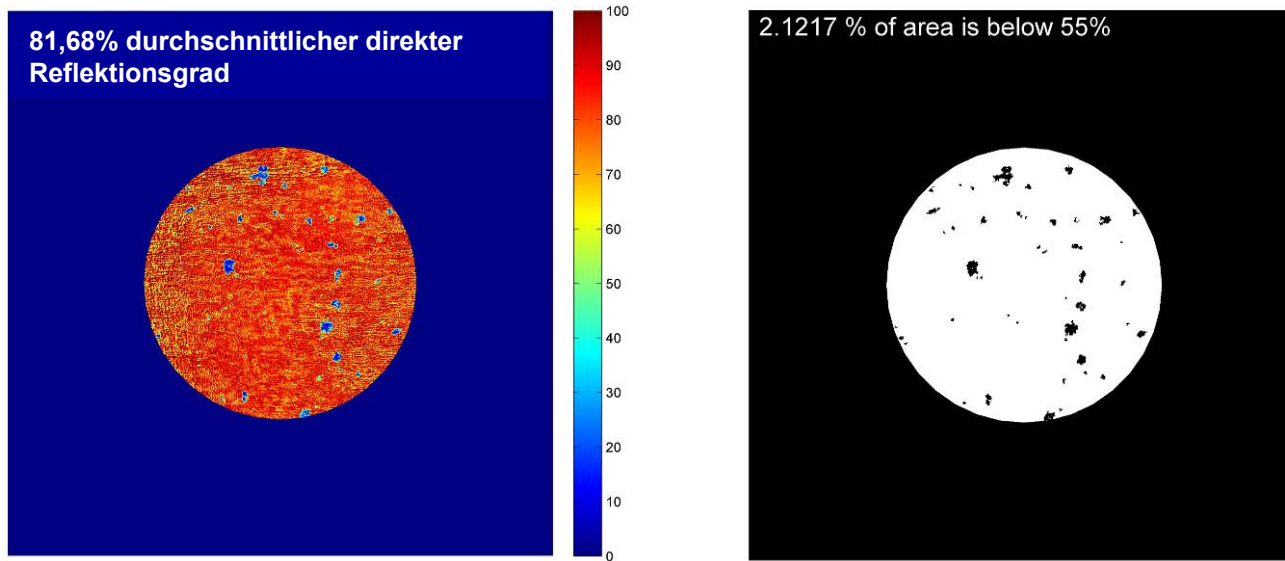


- Der direkte Reflektionsgrad der nicht-korrodierten Fläche bleibt konstant  $\rho_0 = 86\%$
  - Der durchschnittliche direkte Reflektionsgrad der degradierten Fläche kann ebenso als Konstante approximiert werden,  $\rho_D = 13\%$
- Zusammenhang zwischen direktem Reflektionsgrad  $\rho(t)$  und korrodiertem Flächenanteil  $A_D(t)$

$$\rho(t) = (1 - A_D(t)) \cdot \rho_0 + A_D(t) \cdot \rho_D$$

# Bildauswertung - Natürliche Alterung

- Bestimmung des korrodierten Flächenanteils  $A_D(t)$  unter realen Bedingungen durch periodische Vermessung außenbewitterter Proben
- 36 Monate Außenbewitterung in Florida. Messungen bei 660nm und 25mrad.  
Ursprünglicher direkter Reflektionsgrad: 84%



- Der durchschnittliche direkte Reflektionsgrad der 46 einzelnen Korrosionsflecken beträgt 31,6%.
- Auch für Proben an den anderen Standorten beträgt der Verlust des direkten Reflektionsgrades zwischen 1 und 3% nach 3 Jahren Außenbewitterung.



# Fazit

- Bei beschleunigten Alterungstests muss sichergestellt werden, dass keine unrealistischen Degradationsmechanismen auftreten.
- Falls die üblichen beschleunigenden Testmethoden unrealistisch sind, müssen materialspezifische Alterungstests entwickelt werden.
- Der betrachtete Aluminiumreflektor degradiert durch lokale Korrosion an der reflektierenden Aluminiumschicht. Die Korrosion breitet sich unterhalb des Schutzlacks aus.
- Lokale Korrosionsflecken sind die Hauptursache für Verluste des direkten Reflektionsgrads des Aluminiumreflektors.
- Nichtkorrodierte Fläche behält die Reflektionseigenschaften bei (beinahe beim Anfangswert).

## Ausblick

- Messung der Korrosionsausbreitungsgeschwindigkeit und „Geburtenrate“
    - unter verschiedenen „realen“ klimatischen Bedingungen (in Zusammenarbeit mit NREL)
    - unter beschleunigten Testbedingungen
- Ableitung von Korrelationen zur Berechnung der Korrosionsausbreitungsgeschwindigkeit und des direkten Reflektionsverlusts



**Danke für Ihre Aufmerksamkeit!**

